

ANALISIS ESTIMASI ENERGI PANAS BUMI MENGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 (Studi Kasus: Kawasan Gunung Telomoyo)

Naufal Farras, Abdi Sukmono, Nurhadi Bashit ^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : naufalone29@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan, potensi energi panas bumi yang besar ini perlu ditingkatkan kontribusinya untuk mencukupi kebutuhan energi domestik karena energi panas bumi bersifat tidak dapat diekspor, maka sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri. Sebanyak 276 lokasi panas bumi di Indonesia tersebar mengikuti jalur pembentukan gunung api yang membentang dari Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi sampai Maluku. Sebagian besar dari jumlah area tersebut terletak di lingkungan vulkanik, sisanya berada di lingkungan batuan sedimen dan metamorf. Lokasi prospek panas bumi sebanyak 276 area, hanya 31% yang telah disurvei secara rinci dan didapatkan potensi cadangan. Oleh karena itu, perlu metode selain survei lapangan untuk estimasi energi, dengan menggunakan penginderaan jauh.

Teknologi penginderaan jauh dapat digunakan untuk estimasi energi menggunakan metode *radiative heat flux* (RHF) dengan penentuan sebaran suhu permukaan (LST) dan indeks vegetasi metode NDVI dari *band* inframerah, hasil NDVI tersebut kemudian dilakukan klasifikasi untuk menentukan nilai *Emissivity* serta delineasi kelurusan berupa sesar ataupun patahan kemudian dilakukan analisis untuk mendapatkan sebaran area potensial panas bumi, luas area potensial dan estimasi energi menggunakan metode *overlay* pembobotan *Analitycal Hierarchy Process* (AHP) parameter LST, NDVI dan Kelurusan (*Lineament*).

Hasil pengolahan citra landsat 8 didapatkan sebaran area potensial panas bumi berada di Desa Wirogomo, Kemambang dan Banyubiru dengan luas area 3,295 km² dan di Desa Sepakung dengan luas area 0,672 km². Hasil estimasi energi panas menggunakan algoritma *radiative heat flux* (RHF) dari area potensial panas bumi sebesar 76,172 MW.

Kata Kunci : Landsat 8, Panas Bumi, *Radiative Heat Flux* (RHF)

ABSTRACT

Indonesia has geothermal energy potential that is renewable and clean energy. The potential of this great geothermal energy needs to be increased its contribution for fulfil domestic energy needs because geothermal energy can not be exported, then it is very suitable for fulfil the energy needs in the country. A total of 276 geothermal locations in Indonesia are scattered following the path of formation volcano, that stretches from Sumatra, Java, Nusa Tenggara, Sulawesi until Maluku. Most of these areas are located in volcanic environments, the rest are in sedimentary and metamorphic rock environments. The location of the geothermal prospect is 276 areas, only 31% have been surveyed in detail and obtained reserve potential. According to that, another survey method is needed towards estimating energy, using remote sensing

Remote sensing technology can be used for energy estimates using *radiative heat flux* (RHF) method using surface temperature (LST) and vegetation index with NDVI method from infrared bands, the NDVI results is then classified to determine the value of *emissivity* and *lineament* delineation automatically using line extraction method of *reacture* or *fault* then analyzed to get distribution of potential geothermal area, potential area and estimated energy using weight overlay method *Analitycal Hierarchy Process* (AHP) LST, NDVI and *Lineament* parameter.

The results of image processing of landsat 8 obtained the distribution of geothermal potential areas in Wirogomo, Kemambang and Banyubiru subdistrict with an area of 3.295 km² and in Sepakung subdistrict with an area of 0.672 km². The result of heat energy estimation using *radiative heat flux* (RHF) algorithm from geothermal potential area is 76.172 MW.

Keywords: Landsat 8, Geothermal, *Radiative Heat Flux* (RHF)

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Manusia melakukan aktifitas sehari-hari tidak bisa lepas dari energi karena disetiap aktivitas manusia membutuhkan energi. Pertamina *Geothermal Energi* (2011) mengungkapkan bahwa kebutuhan energi yang meningkat hampir kelipatan 100% setiap 10 tahun, sementara ketersediaan energi fosil seperti minyak, gas dan batubara dikhawatirkan akan semakin menurun. Sumber-sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang tidak terbarukan. Sumber energi yang tidak terbarukan memberikan dampak pada komersialisasi energi. Salah satu energi terbarukan atau energi yang dihasilkan dari sumber alami adalah panas bumi yang merupakan sumber daya energi baru terbarukan yang ramah lingkungan (*clean energy*) dibandingkan dengan sumber energi fosil (Wahyuningsih, 2005). Energi panas bumi bersifat tidak dapat diekspor, sehingga sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri. Energi panas bumi merupakan energi yang diekstrak dari sistem hidrotermal. Sistem hidrotermal merupakan sistem vulkanis pembentuk gunung api pada zona batas lempeng yang aktif di mana terdapat aliran panas (*heat flow*) yang tinggi (Wahyuningsih, 2005). Posisi strategis ini memungkinkan panas bumi dari dalam ditransfer ke permukaan melalui sistem sesar. Sebagian besar sumber panas bumi di Indonesia tergolong mempunyai entalpi tinggi.

Hardiwijoyo (2011) menyatakan potensi energi panas bumi di Indonesia yang mencapai 29 GigaWatt (GW) sangat erat kaitannya dengan posisi Indonesia yang secara geologis terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Eropa-Asia, India-Australia dan Pasifik yang berperan dalam proses pembentukan gunung api di Indonesia. Ditinjau dari munculnya panas bumi di permukaan per satuan luas, Indonesia menempati urutan keempat dunia, bahkan dari segi temperatur yang tinggi, merupakan kedua terbesar. Menurut Hadi (2008) sebanyak 276 area panas bumi telah diidentifikasi melalui inventarisasi dan eksplorasi. Sebagian besar dari jumlah area tersebut terletak di lingkungan vulkanik, sisanya berada di lingkungan batuan sedimen dan metamorf. Lokasi prospek panas bumi sebanyak 276 area, hanya 31% yang telah disurvei secara rinci dan didapatkan potensi cadangan. Area panas bumi yang belum dilakukan survey secara rinci seperti Pulau Weh, Ijen, Kerinci, Muaralaboh, Telomoyo dan masih banyak lagi.

Gunung Telomoyo merupakan gunung vulkanik yang tercatat belum pernah meletus dan merupakan salah satu area panas bumi yang termasuk dalam zona solo. Zona ini terbentuk pada suatu kompleks gunung api yang memanjang arah barat laut-tenggara yaitu rangkaian Gunung Ungaran – Gunung Telomoyo - Gunung Merbabu - Gunung Merapi yang berada pada lingkungan geologi vulkanik Kuartir. Kelurusan zona

tersebut dimungkinkan adanya panas bumi yang dapat diidentifikasi, kemudian dapat dijadikan sebagai acuan untuk eksplorasi lanjutan (Agista, 2014). Salah satu lokasi potensi sumber daya panas bumi yaitu Gunung Telomoyo yang berada di kawasan gunung vulkanik sehingga jangkauan ke daerah tersebut cukup sulit sehingga diperlukan adanya teknologi yang dapat membantu menentukan lokasi tanpa harus ke lapangan. Salah satu teknologi yang dapat menjangkau dan mengidentifikasi objek tanpa perlu ke lapangan yaitu penginderaan jauh.

Teknologi penginderaan jauh merupakan cara atau metode yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi karakteristik suatu objek di permukaan bumi tanpa harus melakukan peninjauan langsung terhadap objek tersebut. Hasil informasi dari teknologi penginderaan jauh dilakukan pengolahan berupa *Land Surface Temperature* (LST), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan delineasi kelurusan untuk mendapatkan hasil dan visualisasi berupa peta sebaran area potensial panas bumi yang ditentukan menggunakan metode overlay pembobotan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan penambahan data lokasi mata air panas dan batuan ubahan serta dilakukan perhitungan potensi energi panas bumi. Oleh karena itu, penelitian ini berusaha mencari dan mendapatkan area potensial panas bumi serta estimasi energi, sehingga saat dilakukan eksplorasi lanjutan (survei lapangan) sudah didapatkan ruang lingkup yang lebih spesifik.

Penelitian ini bermaksud untuk menentukan area potensial panas bumi serta estimasi energi menggunakan data penginderaan jauh berupa data citra satelit landsat 8 yang telah memiliki sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) pada band 10 dan 11 yang bermanfaat untuk mendeteksi perbedaan suhu permukaan bumi, dari hasil suhu permukaan yang didapatkan kemudian dikombinasikan dengan data suhu ambient dan penerapan hukum Stefan-Boltzmann sehingga didapatkan estimasi energi panas bumi.

1.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sebaran area potensial panas bumi menggunakan metode *overlay* pembobotan parameter LST, kelurusan dan NDVI dengan penambahan data lokasi mata air panas dan batuan ubahan menggunakan citra landsat 8 di kawasan Gunung Telomoyo?
2. Bagaimana analisis uji signifikansi suhu hasil pengolahan LST dan validasi lapangan?
3. Berapa nilai estimasi energi panas bumi di kawasan Gunung Telomoyo menggunakan algoritma *radiative heat flux* (RHF)?

I.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sebaran area potensi panas bumi menggunakan citra landsat 8 di kawasan Gunung Telomoyo.
2. Mengetahui nilai signifikansi suhu hasil pengolahan LST dan validasi lapangan.
3. Mengetahui nilai estimasi energi di kawasan Gunung Telomoyo menggunakan algoritma *Radiative Heat Flux* (RHF) serta.

I.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Citra satelit yang digunakan adalah Citra Satelit Landsat 8 akuisisi tahun 2015 yang diasumsikan telah terkoreksi geometrik dan data *ambient temperature* dari data suhu BMKG.
2. Koreksi radiometrik dilakukan dengan melakukan kalibrasi radiometrik metode ToA (*Top of Atmosphere*) untuk mengkonversi *digital number* ke *radiance* dan *Reflectance*, dan koreksi atmosfer metode FLAASH.
3. Metode yang di gunakan untuk menentukan area prospek panas bumi adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), LST (*Land Surface Temperature*) dan delineasi kelurusan (*lineament*)
4. *Overlay* parameter LST, NDVI dan Kelurusan menggunakan metode pembobotan *Analitical Hierarchy Process* (AHP)
5. Algoritma yang digunakan dalam estimasi energi yaitu RHF (*Radiative heat flux*) mengikuti referensi penelitian Md. Bodruddoza Mia, Chris J. Bromley dan Yasuhiro Fujimitsu dengan judul "*Monitoring heat flux using Landsat TM/ETM+ thermal infrared data . A case study at Karapiti (Craters of the Moon) thermal area, New Zealand*".

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kajian Geografis Wilayah Penelitian

Gunung Telomoyo adalah gunung yang terletak di wilayah Kabupaten Semarang yaitu kecamatan Banyubiru dan Getasan serta Kecamatan Ngablak di Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Gunung ini memiliki ketinggian 1.894 mdpl dan merupakan gunung api yang berbentuk strato (kerucut) tetapi belum pernah tercatat meletus. Gunung Telomoyo terletak diantara beberapa gunung yang mengelilingi seperti: Gunung Merbabu, Gunung Andong, Gunung Sumbing, dan Gunung Ungaran (Hutami, 2014).

Komponen stratigrafi terdiri dari batuan sedimen berumur tersier, dan batuan vulkanik berumur kuartar yang merupakan produk dari Gunung Telomoyo, Gunung Ungaran dan Gunung Merbabu. Struktur geologi yang berkembang berupa struktur rim kaldera, struktur vulkanik berupa sesar-sesar normal berarah

barat daya-timur laut yang terbentuk akibat aktivitas vulkanik Gunung Telomoyo dan mengontrol pemunculan manifestasi panas bumi Candi Umbul dan Pakis Dadu, serta struktur tektonik berupa sesar-sesar mendatar berarah relatif utara selatan dan barat laut-tenggara.(PSDG, 2010)

II.2 Panas Bumi (*Geothermal*)

Panas Bumi atau yang dikenal dengan istilah *geothermal*, berasal dari bahasa latin dan terbentuk dari akar kata 'geo' yang berarti bumi dan 'thermal' yang berarti panas. *Geothermal* juga dapat diartikan sebagai panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi (Arifin, 2013). Panas Bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan (UU No 21 tahun 2014).

Sumber panas bumi di bawah permukaan seringkali di tunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan (*Geothermal surface manifestation*), manifestasi panas bumi tersebut seperti mata air panas, kubangan lumpur panas (*mud pools*), kolam air panas, *Ground warm* (permukaan tanah hangat), *fumaroles* (gas panas yang keluar dari tanah) dan lain-lain. Manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (saptadji, 2001 dalam Sukendar, 2016).

II.3 Citra Landsat 8

Citra satelit Landsat merupakan salah satu citra satelit penginderaan jauh yang menampilkan gambaran wilayah yang cukup luas dan sistem pengolahan datanya cukup mudah dipahami oleh berbagai pengguna data, sehingga perkembangan Landsat selalu diikuti oleh para pengolah dan pengguna data untuk mempertahankan kontinuitas data serta informasi yang ada di dalamnya. Adanya satelit LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) yang merupakan kelanjutan satelit Landsat 7 ETM+ (Dianovita, 2013).

Satelit *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) atau (Landsat-8) dirancang membawa sensor pencitra OLI (*Operational Land Imager*) yang mempunyai 1 *band* inframerah dekat dan 7 *band* tampak reflektif, akan meliputi panjang gelombang yang direfleksikan oleh objek-objek pada permukaan Bumi, dengan resolusi spasial yang sama dengan Landsat pendahulunya yaitu 30 meter. Serta sensor pencitra *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS) yang dapat menghasilkan kontinuitas data untuk *band-band* inframerah termal yang tidak dicitrakan oleh OLI (*National Aeronautics and Space Administration* (NASA), 2008).

II.4 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Indeks vegetasi adalah besaran nilai kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan (*brightness*) beberapa *band* data sensor satelit. Pemantauan vegetasi dapat dilakukan proses perbandingan antara tingkat kecerahan *band* cahaya merah (*red*) dan *band* cahaya inframerah dekat (*near infrared*).

Penggunaan kedua *band* ini banyak dipilih sebagai parameter indeks vegetasi karena hasil ukuran dari *band* ini dipengaruhi oleh penyerapan klorofil, peka terhadap biomassa vegetasi, serta memudahkan dalam pembedaan antara lahan bervegetasi, lahan terbuka, dan air. Konsep pola normalisasi spektral indeks vegetasi menggunakan *band* merah dan infra merah menghasilkan algoritma sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})} \dots \dots \dots (II.1)$$

Keterangan :

ρ_{NIR} = Reflektan *Band Near InfraRed* (infra merah dekat)

ρ_{RED} = Reflektan *Band Red* (merah)

II.5 Suhu Permukaan (*Land surface temperature*)

Suhu permukaan didefinisikan sebagai suhu bagian terluar dari suatu objek, suhu permukaan suatu objek tidak sama tergantung pada sifat fisik permukaan objek yang berupa emisivitas, kapasitas massa panas dan konduktivitas termal. Suatu objek memiliki emisivitas dan kapasitas panas yang tinggi sedangkan konduktivitas termalnya rendah maka suhu permukaannya akan menurun, contohnya pada permukaan tubuh air. Jika suatu objek memiliki emisivitas dan kapasitas panas yang rendah dan konduktivitas termalnya tinggi maka suhu permukaan akan meningkat, contohnya pada permukaan darat (Sutanto dalam Ariyadi, 2007).

Suhu permukaan didapatkan dari perhitungan berikut, pertama dilakukan konversi dari DN piksel ke *ToA Radiance* menggunakan algoritma gain-offset. Proses transformasi dari *radiance* ke temperatur sensor (*brightness temperature*) menggunakan algoritma seperti berikut

$$T_{Sensor} = \frac{K_2}{\ln\left[\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right]} \dots \dots \dots (II.2)$$

Keterangan :

K_1 = *Band-specific thermal conversion constant from the metadata (K1_CONSTANT_BAND_10)*

K_2 = *Band-specific thermal conversion constant from the metadata (K2_CONSTANT_BAND_10)*

L_λ = *TOA spectral radiance*

Temperatur sensor bukan suhu permukaan sehingga harus ditambahkan parameter emisivitas untuk mendapatkan suhu permukaan menggunakan persamaan berikut :

$$Tk = \frac{T_{Sensor}}{\epsilon} - 273 \dots \dots \dots (II.3)$$

Keterangan :

Tk = *Land surface temperature* (temperatur kinetik)

ϵ = Emisivitas

II.6 Lineament (Kelurusan)

Kelurusan didefinisikan sebagai kelurusan bentang alam yang menggambarkan bentuk batuan atas yang terkubur (Hobbs dalam Immaculata, 2008), sedangkan menurut O'Leary kelurusan didefinisikan sebagai kenampakan linier sederhana atau kompleks dipermukaan bumi yang terpetakan, mempunyai kenampakan lurus atau agak melengkung, dapat dibedakan dengan kenampakan di sekitarnya, dan diduga merupakan gejala dibawah permukaan.

Kelurusan (*lineament*) banyak digunakan dalam berbagai kegunaan, sebagai contoh kenampakan kelurusan pada citra satelit antara lain, kelurusan zona sesar (rekahan), kelurusan lembah pemekaran, kelurusan lapangan minyak dan gas bumi, kelurusan mataair panas, kaldera, kelurusan sungai (lembah), kelurusan rona (warna) dan lain-lainnya (Immaculata, 2008).

Konsep ekstraksi kelurusan dari citra satelit telah diaplikasikan oleh beberapa peneliti, diantaranya Umikaltuma Ibrahim dkk., dan Ricky Ferdianto Herlambang dkk., yang melakukan ekstraksi kelurusan secara otomatis menggunakan *software* PCI Geomatica, Serta Dudi Hermawan dan Zendi Agista dalam penarikan kelurusan secara manual kemudian dilakukan pengelompokan atau kerapatan hasil kelurusan menggunakan *tools* *Line density*.

II.7 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L Saaty tahun 1970. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hierarki yang didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur *multilevel* dimana *level* pertama adalah tujuan, yang diikuti *level* faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga *level* terakhir dari alternatif (Saaty, 2005). Dengan hierarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hierarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis.

II.8 Radiative heat flux (RHF)

Menurut hukum Stefan-Boltzman, *Radiative heat flux* (RHF) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut dan mempertimbangkan *atmospheric transmissivity*, *surface spectral emissivity*, suhu permukaan tanah diperkirakan dari data citra satelit (Mia, 2012).

$$Q_r = \tau \epsilon A (T_s^4 - T_a^4) \dots \dots \dots (II.4)$$

Keterangan :

τ = Atmospheric transmissivity,
 σ = Tetapan Stefan-Boltzmann
 ε = Emissivity
 A = Area (m^2),
 T_s = Land surface temperatur,
 T_a = Ambient temperatur

Adanya konsentrasi energi panas pada sistem panasbumi umumnya dicirikan oleh adanya anomali panas yang dapat terekam di permukaan, yang ditandai dengan gradien temperatur yang tinggi. *Radiative heat flux* merepresentasikan panas yang dipancarkan oleh radiasi dari tanah. Ini terdiri dari fluks panas dari sumber panas bumi ditambah efek radiasi matahari langsung (tercermin) dan tidak langsung (dipancarkan kembali)

Uji Statistik

II.7.1 Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui distribusi data dalam variabel yang digunakan dalam penelitian. Data yang baik dan layak digunakan dalam penelitian adalah data yang memiliki distribusi normal (Sujarweni, 2015). normalitas data dapat dilihat dengan menggunakan uji Shapiro-Wilk, uji Shapiro-Wilk dipilih karena jumlah data yang digunakan 17 data. Syarat uji Shapiro Wilk :

- Data berskala interval atau ratio (kuantitatif)
- Data tunggal / belum dikelompokkan pada tabel distribusi frekuensi
- Data dari sampel random

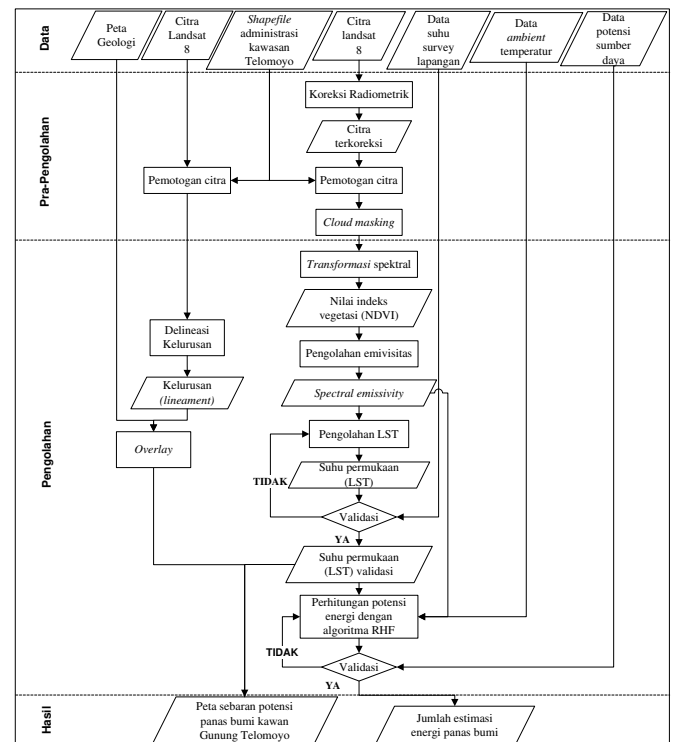
Pengambilan keputusan distribusi normal data dilakukan dengan melihat nilai signifikansi jika nilai Sig > 0,05, maka data berdistribusi normal dan sebaliknya jika nilai Sig < 0,05, maka data tidak berdistribusi normal.

II.7.2 Uji Paired Samples T Test

Menurut (Sujarweni, 2015) uji T berpasangan digunakan untuk menentukan ada tidaknya perbedaan rata-rata dua sampel bebas, dua sampel yang dimaksud adalah sampel yang sama namun mempunyai dua data atau data yang sama namun mendapatkan perlakuan berbeda. Model pengambilan keputusannya menggunakan dua cara yaitu dengan melihat nilai signifikan (Sig.) Perbedaan dianggap signifikan apabila nilai koefisien signifikan perbedaannya kurang dari nilai α (signifikan) yang ditentukan perbedaannya. Misal signifikan < 0,05, maka yang kurang dari 0,05 memiliki perbedaan yang signifikan. Cara selanjutnya jika $t_{hitung} < t_{tabel}$ pada nilai α (signifikan tertentu), maka terdapat perbedaan yang signifikan.

III. Metodologi Penelitian

Secara garis besar tahapan pengolahan dalam penelitian ini dijabarkan dalam gambar diagram alir penelitian berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III.1 Peralatan dan Data Penelitian

III.1.1 Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Perangkat keras berupa laptop dengan spesifikasi:
 - Merek dan tipe : ASUS A450C
 - Tipe prosesor :Prosesor Intel(R) Core(TM) i3-3217U CPU @1.80GHz
 - Spesifikasi RAM : 4 GB DDR3 PC-12800
 - Sistem Operasi : Windows 8.1 Pro 64-bit.
- Perangkat lunak yang digunakan meliputi:
 - Pengolah citra yaitu ArcGIS 10.4, Geomatica 2015 dan ENVI 5.2.
 - Perangkat lunak pengolah data statistik yaitu IBM SPSS Statistics 24.
 - Perangkat lunak kantor yaitu Office 2013.

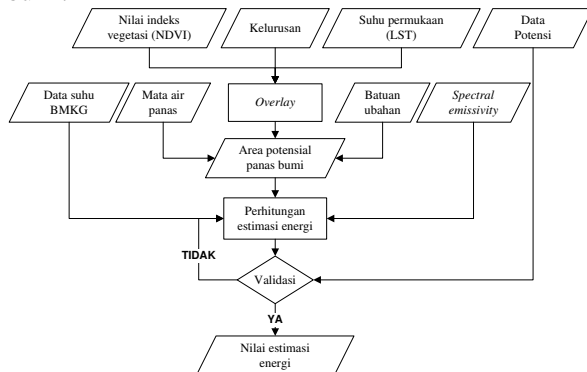
III.1.2 Data penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Data citra Landsat 8 akuisisi bulan Juni 2015
- Data suhu udara harian bulan Juni 2015
- Shapefile Administrasi kawasan Gunung Telomoyo dari data RTRW Kabupaten Kota Jawa Tengah dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA)
- Data Potensi Sumber Daya dari penelitian Rina Wahyuningsih

III.2 Tahapan Pengolahan

Secara umum pengolahan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pra-pengolahan citra, pengolahan kerapatan vegetasi metode NDVI, pengolahan suhu permukaan metode LST, delineasi kelurusan (*lineament*), *overlay* kerapatan vegetasi, suhu permukaan, kelurusan pada litologi lava andesit basalt menggunakan metode AHP dalam menentukan area potensial panas bumi dan penerapan algoritma *radiative heat flux* (RHF) untuk estimasi energi panas bumi.



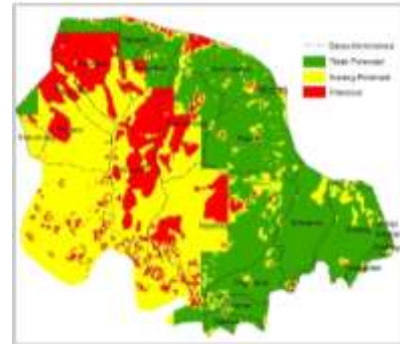
Gambar 2 Diagram alir proses

III.2.1 Penentuan Area Potensial Panas Bumi

Penentuan area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo dengan cara melakukan *overlay* parameter suhu permukaan, kerapatan vegetasi dan kelurusan menggunakan pembobotan dengan metode AHP.

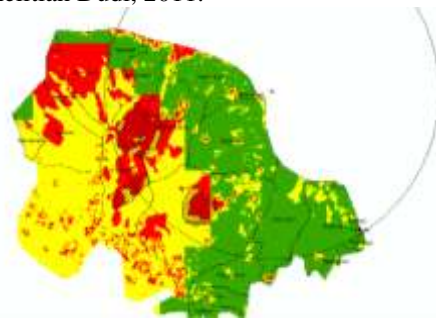
Tabel 1 Hasil pembobotan metode AHP

Kriteria	Sub Kriterion	Bobot Kriteria	Bobot Sub Kriteria	Bobot
Kelurusan	Jarang	0,500	0,088	0,044
	Agak Rapat		0,157	0,078
	Rapat		0,272	0,136
	Sangat Rapat		0,483	0,241
LST	12-17 °C	0,250	0,047	0,012
	17-20 °C		0,080	0,020
	20-23 °C		0,118	0,029
	23-25 °C		0,248	0,062
NDVI	25-32 °C		0,507	0,127
	Badan Air	0,250	0,238	0,060
	Non-Vegetasi		0,406	0,101
	Vegetasi Rendah		0,229	0,057
	Vegetasi Sedang		0,077	0,019
	Vegetasi Rapat		0,049	0,012



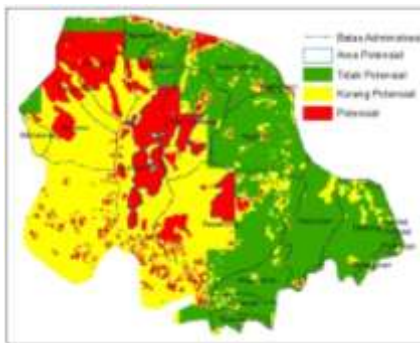
Gambar 3 Tampilan hasil *overlay* terklasifikasi

Menurut penelitian Noorolahi, 2006 yang melakukan penelitian tentang analisis distribusi spasial sumber air panas dan sumur panas bumi di Jepang menunjukkan bahwa 97% sumur panas bumi berada pada jarak 4000m mata air panas. Menurut Yousefi, 2007 Untuk menghindari hilangnya daerah potensial jarak 5000m digunakan sebagai tempat bukti untuk memilih area potensi panas bumi yang menjanjikan berdasarkan lokasi sumber air panas. Hasil *buffer* sejauh 5 km dari mata air panas seperti pada Gambar 4. Lokasi dan distribusi zona alterasi permukaan dapat membantu mengidentifikasi daerah potensial panas bumi karena zona alterasi mungkin terkait erat dengan arus utama sistem panas bumi pada kedalaman. Dengan kata lain, kemungkinan sumber panas bumi terjadi di dalam dan di sekitar zona alterasi. Data alterasi batuan kawasan Gunung Telomoyo didapat dari penelitian Dudi, 2011.



Gambar 4 Hasil *buffer* dan tampilan sebaran alterasi batuan

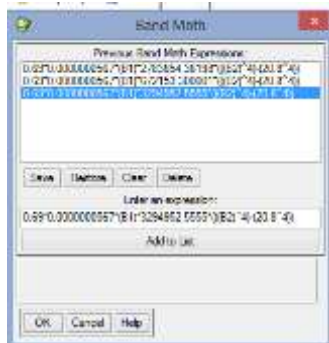
Hasil penentuan area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo dari data *overlay* pembobotan menggunakan metode AHP dari parameter LST, NDVI dan kelurusan pada litologi lava andesit basalt serta *buffer* 5000 meter dari lokasi mata air panas dan data alterasi batuan didapatkan dua area potensial yaitu pada kaldera Telomoyo atau di Desa Wirogomo, Kemambang, Banyubiru dan Sepakung dengan luas total area potensial sebesar 3,967 km². Hasil penentuan area potensial seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Area potensial panas bumi

III.2.2 Pengolahan Radiative Heat Flux

Pengolahan *Radiative Heat Flux (RHF)* dilakukan pada *software* ENVI 5.2 yang bertujuan untuk mendapatkan total energi yang dipancarkan dari area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo yang dihitung dengan menggunakan prinsip hukum Stefan-Boltzmann dengan kombinasi data *ambient temperature* dari data suhu udara yang diperoleh dari stasiun pengukuran suhu Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dengan memasukkan persamaan II.4 pada *tools band math* seperti pada Gambar 6.

Gambar 6 Persamaan II.4 dalam jendela *band math*

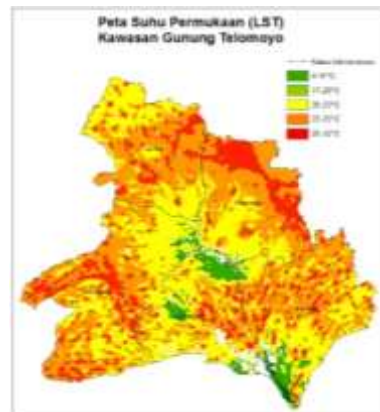
Hasil energi dari persamaan RHF masih mengandung efek radiasi matahari langsung (*reflectance*) dan tidak langsung (*re-radiation*) dari panas matahari, tetapi hanya efek radiasi matahari langsung yang memberikan perbedaan suhu permukaan. Sehingga untuk mendapatkan nilai *netRHF (Geothermal radiative heat flux)* dari area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo harus dikurangi dengan menghitung RHF daerah *non-thermal* yang memiliki topografi yang serupa dan berada pada garis lintang yang sama.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil dan Analisis Suhu Permukaan

Hasil pengolahan *band 10* citra *landsat 8* kawasan Gunung Telomoyo didapatkan rentang suhu dari 12°C sampai dengan 32°C, dari rentang suhu tersebut kemudian dibagi menjadi 5 kelas yaitu : kelas 12-17°C, kelas 17-20°C, kelas 20-23°C, 23-25°C dan 25-32°C.

Menurut penelitian Qiming Qin, 2010 dengan judul *Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis—A case study in Tengchong, China* mengungkapkan bahwa terdapat korelasi antara struktur patahan atau *lineament* dengan distribusi anomali *geothermal*. Struktur patahan merupakan jalur untuk transmisi termal dimana panas bawah tanah dapat ditransfer secara efisien ke permukaan tanah dan terdeteksi sebagai anomali *land surface temperature (LST)* pada citra inframerah termal yaitu pada suhu 295,84 K atau 22,84°C.



Gambar 7 Tampilan suhu permukaan

Tabel 2 Klasifikasi dan luasan suhu permukaan

Kelas suhu (°C)	Luas	
	Ha	%
12-17	162,451	0,5501
17-20	1218,275	4,1255
20-23	10871,682	36,8150
23-25	13039,624	44,1564
25-32	4238,508	14,3530
Total	29530,541	100

Tabel 3 Sebaran suhu permukaan

KECAMATAN	Badan Air (Ha)	Non Vegetasi (Ha)	Vegetasi Rendah (Ha)	Vegetasi Sedang (Ha)	Vegetasi Rapat (Ha)	Luas	
						Ha	Persentase
Banyuwiru	222.37	218.59	1023.73	878.94	2954.86	5298.5	17.942
Getasan	12.83	103.23	735.65	1818.44	3785.07	6455.24	21.859
Grahag	14.99	209.89	1521.14	1783.92	4546.26	8076.21	27.349
Jambu	9.49	41.53	419.03	652.03	4381.08	5503.17	18.635
Ngablak	3.85	119.95	843.81	1467.37	1762.57	4197.57	14.214
TOTAL						29530.69	100

Hasil pengolahan suhu permukaan kawasan Gunung Telomoyo didominasi oleh kelas suhu 23 sampai 25°C dengan luas sebesar 13039,624 hektar atau 44,156% dari total luas sebesar 29530,541 hektar, kelas suhu 23°C sampai 25°C berada pada tutupan lahan berupa tanah kosong, sawah yang belum ditanami, vegetasi dekat pemukiman dan pemukiman. Kelas suhu 12°C sampai 17°C merupakan kelas dengan luasan terkecil sebesar 162,451 Ha atau 0,5501% dari total luas, pada kelas tersebut berada pada kawasan dataran tinggi dengan vegetasi yang rapat yaitu pada Gunung Telomoyo, Gunung Merbabu dan Gunung Andong dan pada kelas suhu 25°C sampai

32°C dengan luas 4238,508 Ha atau 14,3530% dari luas keseluruhan berada pada tutupan lahan atau kawasan pemukiman, industri, tanah kosong dan pertanian, Kecamatan Banyubiru pada kelas suhu 25°C sampai 32°C memiliki luasan area terbesar yaitu 1257,129 Ha yang berada pada dataran rendahnya karena, pada kecamatan Banyubiru banyak pemukiman, industri, dekat dengan jalan raya serta pusat kota sehingga efek aktifitas manusia mempengaruhi hasil suhu permukaan.

IV.2 Hasil dan Analisis Uji Statistik

IV.2.1 Uji Normalitas

Tabel 4 Hasil uji normalitas

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Suhu_LST	0,147	17	0,200*	0,943	17	0,361
Suhu_Lapangan	0,139	17	0,200*	0,944	17	0,366

Hasil uji normalitas pengujian dengan SPSS menggunakan metode uji Shapiro-Wilk dengan tingkat kepercayaan 95%, didapatkan nilai *Sig* sebesar 0,361 untuk suhu pengolahan LST dan 0,366 untuk suhu hasil validasi lapangan. Syarat untuk memenuhi normalitas data adalah *Sig.* > 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa data suhu pengolahan metode LST dan suhu hasil validasi lapangan adalah normal dan dapat dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

IV.2.2 Uji Paired Samples T Test

Tabel 5 Hasil uji T berpasangan

Paired Samples Test									
Paired Differences		Mean		Std. Deviation		Std. Error Mean		95% Confidence Interval of the Difference	
1	2	Mean	Std. Deviation	Mean	Std. Deviation	Mean	Std. Deviation	Lower Bound	Upper Bound
1	2	1257,129	1257,129	1257,129	1257,129	1257,129	1257,129	1257,129	1257,129

Hasil uji T yang tertera pada **Tabel 5** yakni antara suhu pengolahan LST dengan suhu hasil validasi lapangan. hasil uji T didapatkan nilai *sig.* (2-tailed) sebesar 0,541, nilai *sig* hasil pengolahan menunjukkan nilai yang lebih besar dari 0,05. Hal ini berarti H_0 diterima. Jadi nilai *sig.* (2-tailed) tersebut menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikansi suhu pengolahan LST dengan hasil validasi lapangan.

IV.3 Analisis Area Potensial Panas Bumi

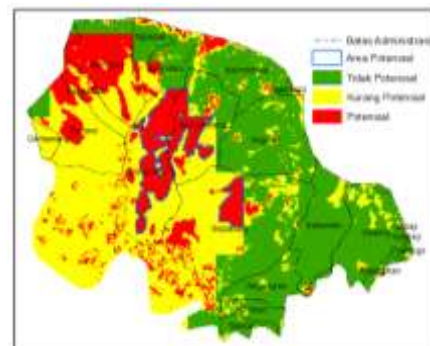
Penentuan area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo ditinjau dari 4 aspek yaitu : Suhu permukaan, kerapatan vegetasi, tinjauan geologi dan *lineament* (kelurusan) menggunakan metode *overlay* pembobotan AHP dan informasi lokasi mata air panas dan batuan ubahan

IV.3.1 Hasil Overlay Kelurusan, NDVI dan LST pada Litologi Lava Andesit Basalt

Hasil *overlay* suhu permukaan, indeks vegetasi dan kelurusan pada litologi lava andesit basalt area yang mempunyai warna merah merupakan area potensial tetapi tidak semua area yang berwarna merah

merupakan area potensial panas bumi, karena adanya efek aktifitas manusia yang menyebabkan hasil *overlay* menjadikan area tersebut potensial.

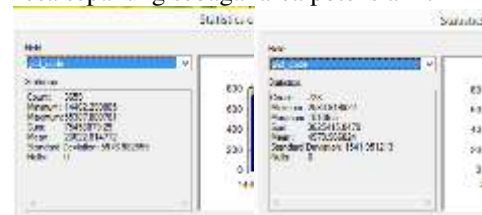
Area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo bagian utara terdapat pada kaldera Telomoyo atau pegunungan kelir dan daerah sepakung seperti pada **Gambar 8**, Hasil penentuan area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo dari data *overlay* pembobotan menggunakan metode AHP dari parameter LST, NDVI dan kelurusan pada litologi lava andesit basalt serta *buffer* 5000 meter dari lokasi mata air panas dan data alterasi batuan didapatkan dua area potensial yaitu pada kaldera Telomoyo atau di Desa Wirogomo, Kemambang, Banyubiru dan Sepakung dengan luas total area potensial sebesar 3,967 km². Batuan ubahan yang terdapat di daerah Telomoyo diperkirakan daerah tersebut merupakan zona *upflow*. Alterasi argillik-argillik lanjut yang berada pada zona *upflow* menandakan jauh di bawahnya terdapat zona reservoir yang mengalami *boiling* sehingga fluida menjadi dua fasa yaitu uap dan air, uap air naik ke permukaan. Batuan yang teralterasi pada zona argillik-argillik lanjut ini dapat menjadi *clay cap* dan menjadi zona penudung reservoir menurut penelitian Dudi Hermawan (2011) dan Zendi Agista (2014)



Gambar 8 Area potensial panas bumi

IV.3.2 Hasil Estimasi Energi Panas Bumi dari Area Potensial

Area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo terletak di sekitar pegunungan kelir atau pada kaldera telomoyo yaitu di Desa Wirogomo, Kemambang dan Banyubiru sebagai area potensial 1, dan di Desa sepakung sebagai area potensial 2.



(a) Area potensial 1

(b) Area potensial 2



(c) Area non thermal

Gambar 9 Statistik energi hasil perhitungan RHF

Hasil estimasi energi pada **Gambar 9** (a) merupakan area potensial panas bumi di pegunungan kelir atau kaldera Telomoyo yaitu pada Desa Wirogomo, Kemambang dan Banyubiru dengan luas area 3,295 km² dan hasil perhitungan energi sebesar 75,459 MW (b) merupakan area potensial panas bumi di Desa Sepakung dengan luas area 0,672 km² dan hasil perhitungan energi sebesar 3,625 MW. (c) merupakan area non thermal pada lereng gunung Merbabu pada lintang yang sama dari area potensial.

Perhitungan estimasi energi pada area potensial sebesar 79,084 Megawatts (MW) kemudian dilakukan pengurangan dengan area non thermal untuk menghilangkan efek langsung (*direct effect*) dan tidak langsung (*indirect effect*) dari radiasi matahari sebesar 2,912 MW, sehingga didapatkan hasil estimasi energi panas bumi di area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo sebesar 76,172 MW.

IV.4 Validasi Hasil Algoritma RHF

Validasi ini didasarkan pada hasil perhitungan energi panas yang terpancarkan kawasan Gunung Telomoyo dengan luas area sebesar 3,967 km², menggunakan algoritma *Radiative Heat Flux* (RHF) yang didapatkan sebesar 76,172 MW kemudian dibandingkan dengan data potensi dan wilayah kerja pertambangan panas bumi di Indonesia dari Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral (DIM) yang di dapatkan dari penelitian Rina Wahyuningsih dengan nilai perkiraan potensi sebesar 90 MW.

Tabel 6 Wilayah kerja pertambangan yang ditawarkan

No	Wilayah Kerja Pertambangan	Perkiraan Potensi (MW)	Luas WKP (Ha)
1	Pulau Weh	100	6.722
2	Rantau Dadap	225	120.000
3	Seulawah	280	115.000
4	Pusuk Bukit	225	577.500
5	Sorik Merapi	320	108.200
6	Muarabon	600	95.130
7	Kerinci	40	11.250
8	Suoh Sekincaw	430	135.100
9	G. Rajabasa	80	37.060
10	Kaldera D. Banten	285	163.700
11	Cisolok-Cisukarame	133	184.400
12	Tangkuban Prahua	370	100.400
13	G. Ciremai	50	93.340
14	Longkan	100	51.430
15	Telomoyo	90	72.040
16	Ngelut-Prins	120	51.310
17	Jen	270	43.610
18	Kumbur	200	39.000
	Total	3918	

Terdapat perbedaan yang cukup banyak antara estimasi energi menggunakan algoritma RHF dengan hasil perkiraan potensi dari penelitian Rina Wahyuningsih yaitu sebesar 13,828 MW. Perbedaan energi cukup besar tersebut karena, pertama perbedaan luas antara area potensial yang menjadi hitungan estimasi energi menggunakan algoritma RHF dengan

luas perkiraan potensi dari penelitian Rina Wahyuningsih. Kedua, penggunaan suhu dari BMKG sebagai *ambient* temperatur harus merupakan suhu ruangan dari benda yang diteliti sehingga *ambient* temperatur dalam menentukan suhu mutlak seharusnya menggunakan suhu dari kedalaman tanah area penelitian.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan metode penentuan area potensial panas bumi yang telah dibuat, area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo berada di pegunungan kelir atau kaldera telomoyo yaitu desa Wirogomo, Kemambang dan Banyubiru dengan luas area 3,295 km² serta di desa Sepakung dengan luas sekitar 0,672 km².
2. Hasil uji signifikansi menggunakan uji *paired sample T test* didapatkan nilai sig. sebesar 0,541 yang berarti bahwa tidak ada perbedaan signifikansi suhu hasil pengolahan LST dan validasi lapangan.
3. Hasil perhitungan estimasi energi panas bumi menggunakan algoritma *Radiative Heat Flux* pada dua area potensial panas bumi didapatkan total nilai estimasi energi panas bumi di area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo sebesar 76,172 MW.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran agar penelitian berikutnya bisa lebih baik, yaitu:

1. Sebaiknya dihindari pemakaian citra landsat yang memiliki awan menutupi wilayah penelitian, karena sensor termal tidak dapat menembus awan.
2. Sebaiknya gunakan citra satelit yang memiliki kanal termal dengan resolusi spasial yang lebih baik dari pada citra landsat
3. Penggunaan data suhu dari BMKG sebagai *ambient* temperatur atau suhu ruangan harus memperhatikan lokasi yang dekat dengan studi kasus, tetapi alangkah lebih baik jika penggunaan suhu ruangan menggunakan data pengukuran suhu kedalaman lokasi penelitian.
4. Penginderaan jauh dalam mengidentifikasi ketersediaan energi panas bumi pada penelitian ini tidak lepas dari interdisiplin ilmu lain (geologi, geofisika, geokimia). Dikarenakan hasil data penginderaan jauh hanya untuk membuktikan ketersediaan energi panas bumi pada suatu wilayah, sedangkan untuk menghitung nilai keekonomisan dari energi panas bumi tersebut maka diperlukan penelitian lebih lanjut dari disiplin ilmu lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agista, Z., Rachwibowo P. dan Aribowo Y.. (2014). Analisis Litologi Dan Struktur Geologi Berdasarkan Citra Landsat Pada Area Prospek Panasbumi Gunung Telomoyo Dan Sekitarnya, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Semarang: Universitas Diponegoro
- Ariyadi, W. (2007). Estimasi Evapotranspirasi Spasial Menggunakan Suhu Permukaan Darat (LST) Dari Data Modis Teraa/Aqua dan Pengaruhnya Terhadap Kekeringan. Skripsi. Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Hadi, A.U. (2008). Potensi Dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi Di Indonesia. Yogyakarta. Jurnal Ilmiah MTG, Vol. 1, No. 2
- Hadiwijoyo, R. (2011). *Geothermal A green solution*. Jakarta Post. Rabu, 01/26/2011
- Hutami, R.T., Aribowo, Y. dan Widiarso, D.A. (2014). Studi Pendahuluan Daerah Prospek Panasbumi Berdasarkan Data Manifestasi Panasbumi, Geokimia Dan Isotop Fluida Panasbumi Komplek Gunung Telomoyo, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Immaculata, C. (2008). Identifikasi Penampakan Sesar Aktif Dengan Menggunakan Citra Dan Metode Sig (Studi Kasus : Solok Dan Sekitarnya, Sumatera Barat). Bandung : Institut Teknologi Bandung
- Mia, Md.B., Bromley, C.J. dan Fujimitsu, Y. (2012). *Monitoring heat flux using Landsat TM/ETM+ thermal infrared data (A case study at Karapiti ('Craters of the Moon') thermal area, New Zealand)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research 235–236 (2012) 1–10
- Noorollahi, Y.I.R., Fujii, H dan Toshiaki, T. (2006). "GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, Northern Japan". *Journal of Computer & Geosciences*.
- PSDG. (2010). Survei Panas Bumi Terpadu Geologi Dan Geokimia Daerah Candi Umbul-Telomoyo Provinsi Jawa Tengah. Bandung : Pusat Sumber Daya Geologi
- Saaty, T.L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. 352 pp , RWS Publications, 2005. ISBN 1-888603-06-2
- Sujarweni, V. W. (2015). SPSS Untuk Penelitian. Yogyakarta : Pustaka Baru Press
- Sukendar, P.M., Sasmito, B. dan Putra, A.W. (2016). Analisis Sebaran Kawasan Potensial Panas Bumi Gunung Salak Dengan Suhu Permukaan, Indeks Vegetasi dan Geomorfologi. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Wahyuningsih, R. (2005). Potensi Dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi Di Indonesia. *DIM*.

Peraturan Perundangan :

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2014 Tentang Panas Bumi. (2014). www.hukumonline.com (diakses 10 Maret 2017).

Pustaka dari Internet :

Pertamina Geothermal Energi. (2013). *Potensi Panas Bumi Indonesia Sangat Besar*. <https://www.scribd.com/document/193218581/3-Geothermal-PGE> (diakses 10 Maret 2017)